

# 철도차량 바닥구조물 내화성능 수치 평가

## Numerical Evaluations of Fire Resistance of Railcar Floor

박원희\*                      이덕희                      정우성  
 Won-Hee Park              Duck-Hee Lee              Woo-Sung Jung

### ABSTRACT

Fire resistance of a floor of a railcar is prescribed in the 「Guidelines of standard of railcar safety (Minister of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)」. A floor of a railcar should retain its fire resistance for 15 or 20 minutes according its risk level. To evaluate fire resistance of the floor materials which are composed of ceramic board or aluminum foam with weight lightening, fire resistance of railcar floor is numerically analyzed.

## 1. 서 론

철도차량의 화재안전성을 확보하기 위하여서는 철도차량의 내장재의 연소성(combustibility)을 확보하는 것이 우선적으로 중요하다. 철도차량 내장재가 내부에서 발생한 화재로 인하여 착화되지 않고, 착화되었다고 잘 전파되지 않으며, 화재가 전파되었을 경우에 유독가스가 별로 생성되지 않는다면 보다 안전한 철도 차량의 내장재라고 할 수 있을 것이다. 이러한 철도차량 내장재의 화재안전 성능은 「도시철도차량 안전기준에 관한 규칙」<sup>1</sup>, 및 「철도차량 안전기준에 관한 지침」<sup>2</sup>에 제시되어 있다. 산소지수, 화염전파, 연기밀도, 연기독성 등에 대하여 내장판, 의자(커버, 쿠션, 몸체), 통로연결막(A형, B형), 바닥재, 단열재, 전선 등에 대하여 시험을 수행하도록 되어있으며 각각의 합격기준이 제시되어 있다. 일반적인 철도차량의 경우 차체구조 및 차체 외장의 경우에 불연재인 스틸이나 알루미늄의 금속재를 이용하여 왔으나 최근에 경량화 등의 목적으로 차체 바닥이나 단부를 복합소재를 활용하고 있다. 이러한 복합소재의 경우 화재에 대한 내화성능은 시험적 방법으로 평가되고 있다. 본 고에서는 철도차량의 구조로 활용할 수 있는 바닥재에 대하여 내화성능을 수치적으로 평가하는 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 차체구조 내화성능

### 2.1 차체구조 내화성능 규격

표 1. 객차등의 설계유형에 따른 분류 기준

품 목		시험방법	시험항목	합격기준			
				위험등급 [1]	위험등급 [2]	위험등급 [3]	위험등급 [4]
차체 구조	바닥	KS F 2257-5 또는 ISO 834-5	내화성능 유지시간(분)	≥15	≥15	≥20	≥20
	단부, 지붕	KS F 2257-1 또는 ISO 834-1	차염성능 유지시간(분)	≥15	≥15	≥20	≥20

철도차량 차체구조의 내화성능은 「철도차량 안전기준에 관한 지침」<sup>2</sup>에 제시되어 있다. 표1에서는 차체 구조의 바닥 및 단부, 지붕에서의 시험방법, 시험항목 및 위험등급에 따른 합격기준을 보여주고 있다. 표 2에

† 교신저자, 한국철도기술연구원, 친환경연구실  
 E-mail : whpark@krri.re.kr

서는 객차등의 설계유형에 따른 분류기준이 제시되어 있으며 객차등의 설계유형에 따른 분류 기준은 표 3과 같다

표 2. 객차등의 설계유형에 따른 분류 기준

설계유형 기 호	적 용 기 준
[A]	무인운전의 객차등
[B]	침대가 설치된 객차등, 이층구조의 객차등
[C]	고속철도차량, 디젤동차, 전기동차, 일반객차
[D]	[A] 내지 [C]의 설계유형에 속하지 아니하는 객차등

표 3. 객차등의 화재위험등급 분류기준

운행범위	설계범위			
	[D]	[C]	[B]	[A]
[가]	위험등급[1]	위험등급[1]	위험등급[2]	위험등급[2]
[나]	위험등급[2]	위험등급[2]	위험등급[3]	위험등급[4]
[다]	위험등급[2]	위험등급[3]	위험등급[4]	위험등급[4]
[라]	위험등급[3]	위험등급[4]	위험등급[4]	위험등급[4]

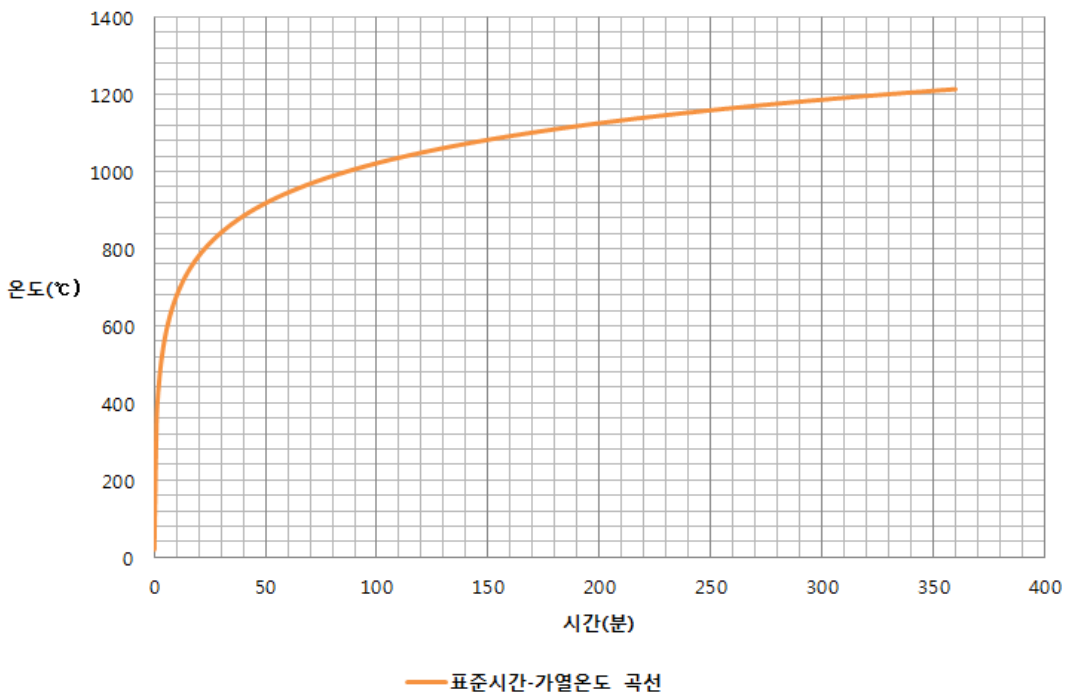


그림 1 가열로 내부의 온도가열곡선

## 2.2 시험방법

시험방법은 KS F 2257-5에 명시되어 있는데 가열로의 시간에 따른 온도곡선 식은 아래와 같으며 이를 시간에 따른 온도 그래프로 표현하면 그림1과 같다.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

(1)

시험조건을 요약하면 아래와 같다.

- 일반적으로 지름 50mm 이하의 볼러에 의한 단순지지로 시험하거나 실제 단부 조건을 구현하여 시험
  - 단순 지지 부재(볼러)는 장변(길이 방향)의 이동 및 수직 변형이 자유롭도록 설치할 것 (마찰 저항에 의한 고정 배제)
  - 시험체와 지지구조 또는 시험체 틀 사이의 모든 결합은 실제 구속상태를 재현할 것
- 시험체 틀에 설치하는 경우(길이의 양 끝단 고정 - 너비 방향의 팽창 허용)
- 국제 규격을 따르며 가열 길이의 각 끝단에 최대 200mm를 더한다.
- 시험체 틀에 설치하지 않는 경우(길이의 양 끝단 고정하지 않는 경우- 길이, 너비 모두의 팽창 허용)
- 시험 장치 등 시험 여건을 감안하여 기존의 시험체 가열길이에 각 끝단에 최대 350mm를 더한다.
- 주의사항
- 경계조건은 팽창, 수축, 또는 회전에 대한 구속을 부여할 수 있음. 변형 발생을 억제하지 않을 수 있음.
  - 실제 구조에서의 경계 조건이 불확실하거나 가변적인 경계 조건을 갖는 시험 부재인 경우, 안정적인 결과를 가져올 수 있는 방법을 사용하여 그 끝부분을 지지함

위의 시험조건을 고려하여 재현한 시편의 구속 및 경계조건에 대하여 그림으로 표현하면 아래와 같다.

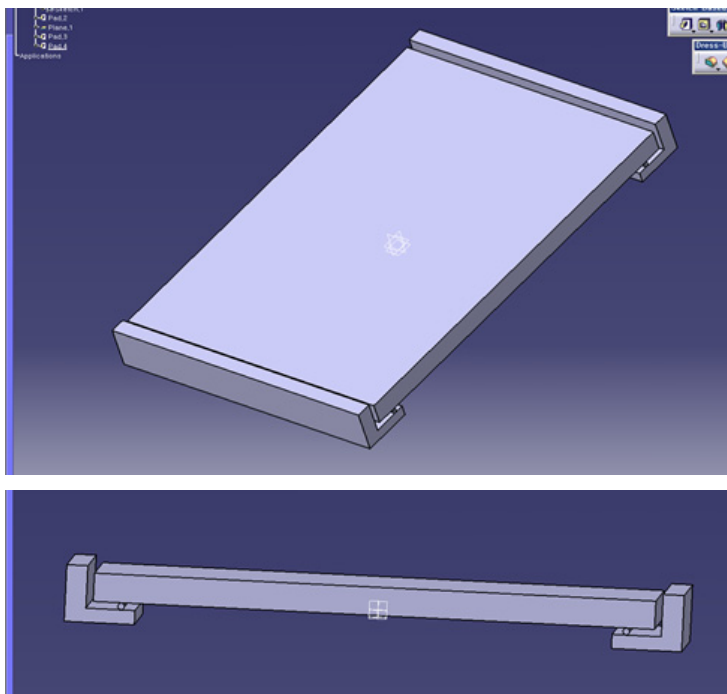


그림2 시험조건 (구속 및 경계 조건)

## 2.3 성능기준

### (1) 하중 지지력

시험체가 시험 하중에 견디는 시간을 측정하며, 변형량 및 변형률 모두에 의해 결정

변형률의 성능기준 : 변형량이 L/30을 초과할 때까지 적용안함 (평형 상태에 도달할 때까지 급속한 변형이 생길 수 있으므로)

- 휨 부재의 경우

: 변형량

$$D = \frac{L^2}{400d} mm \quad (2)$$

: 변형률

$$\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9,000d} mm/min \quad (3)$$

- 축방향 재하 부재의 경우

: 수축량

$$C = \frac{h}{100} mm \quad (4)$$

: 변형률

$$\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1,000} mm/min \quad (5)$$

## (2) 차염성

시험중 다음의 상황이 발생되지 않고 시험체가 구획 기능을 유지하는 경과시간으로 정한다.

- a) 규정한 면 패드 적용 시 착화
- b) 규정한 균열 게이지의 관통
- c) 10초 이상 지속되는 시험체 비가열면에서의 화염 발생

## (3) 차열성

시험체의 비가열면 온도가 아래와같이 상승하지 않고 시험체가 구획기능을 유지하는 경과시간으로 정한다.

- a) 초기 온도보다 140K를 초과하여 상승하는 것
- b) 이동 열전대를 포함한 모든 부분에서 초기 온도(비가열면의 평균 온도)보다 180K를 초과하여 상승하는 것

철도차량의 바닥재의 경우 (1)하중지지력과 (3)차열성으로 평가할 수 있다.

## 3. 수치해석 및 결과

내화성능을 평가하기 위하여 4.4 m x 3. m x 9.e-002 m의 시편을 이용하였다. 시편의 단면 개략도는 아래와 같다.

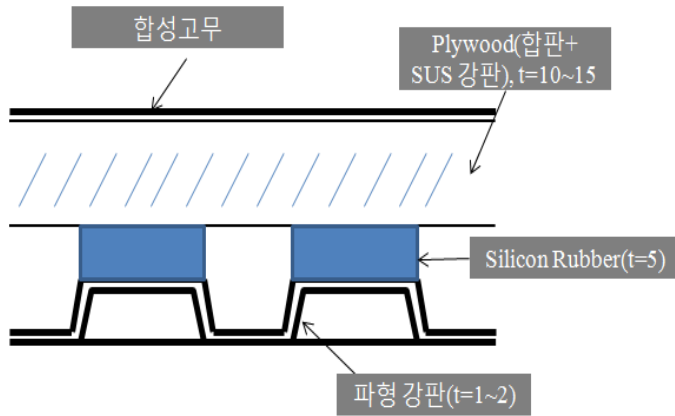


그림3 철도차량 고무-합판 바닥 구조

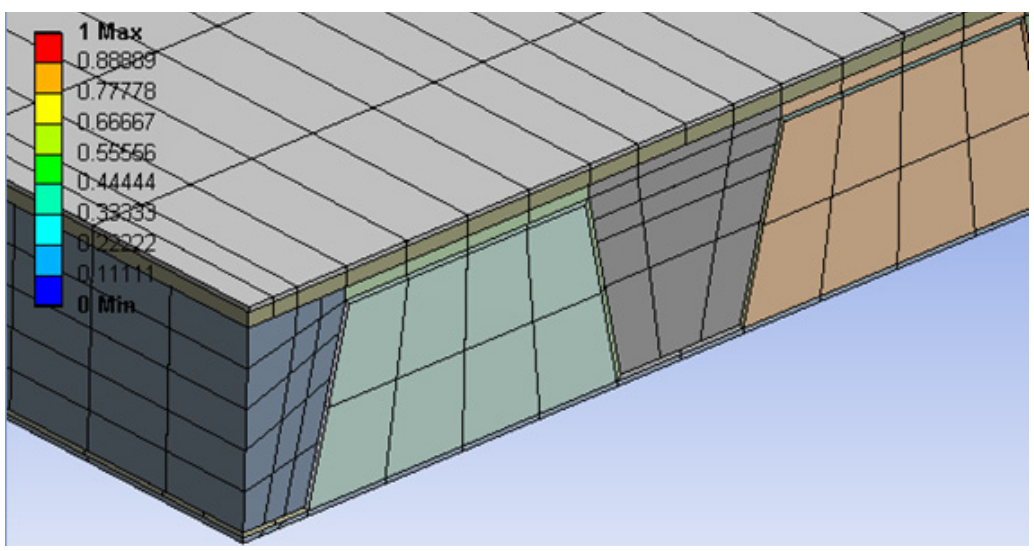
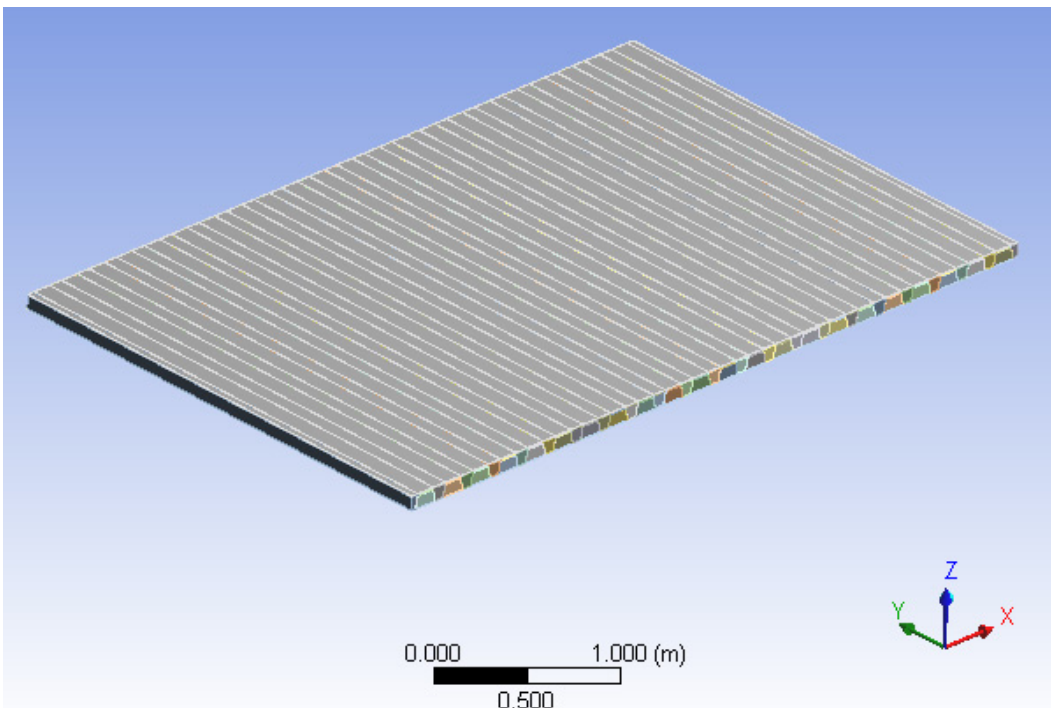


그림4 시편의 해석영역 및 격자계

수치해석을 수행한 시편의 전체 도메인은 그림4와 같다. 현재 일반적인 SUS 차량의 경우 바닥이 아래 그림과 같은 고무+합판 구조로 이루어져있다. 언더프레임 상면에 파형 강판인 키스톤 플레이트(Keystone plate) 구조물을 깔고, 키스톤 플레이트의 돌출 부분(□)의 상부에 Silicon rubber(t=5)를 부착하며 그 위를 합판과 sus 강판으로 이루어진 plymetal panel(t=15~18)이 길게 뒤덮고 있다. 파형강판과 silicon rubber 사이의 공간은 단열, 흡음을 위해 단열재인 glass wool 또는 mineral wool을 채워 넣거나 경우에 따라 빈 공간으로 두기도 한다. 경량화 측면에서, 전동차의 차체 중량화는 가장 큰 중량이 꽤 나가는 소석립으로 채운 기존 unitex 구조에 비해, 탁월한 경량효과를 나타낼 수 있다. 파형강판 및 합판+강판은 모두 steel로 가정하였으며 파형강판 및 실리콘러버 사이의 공간은 빈공간으로 가정하여 수치해석을 수행하였다.

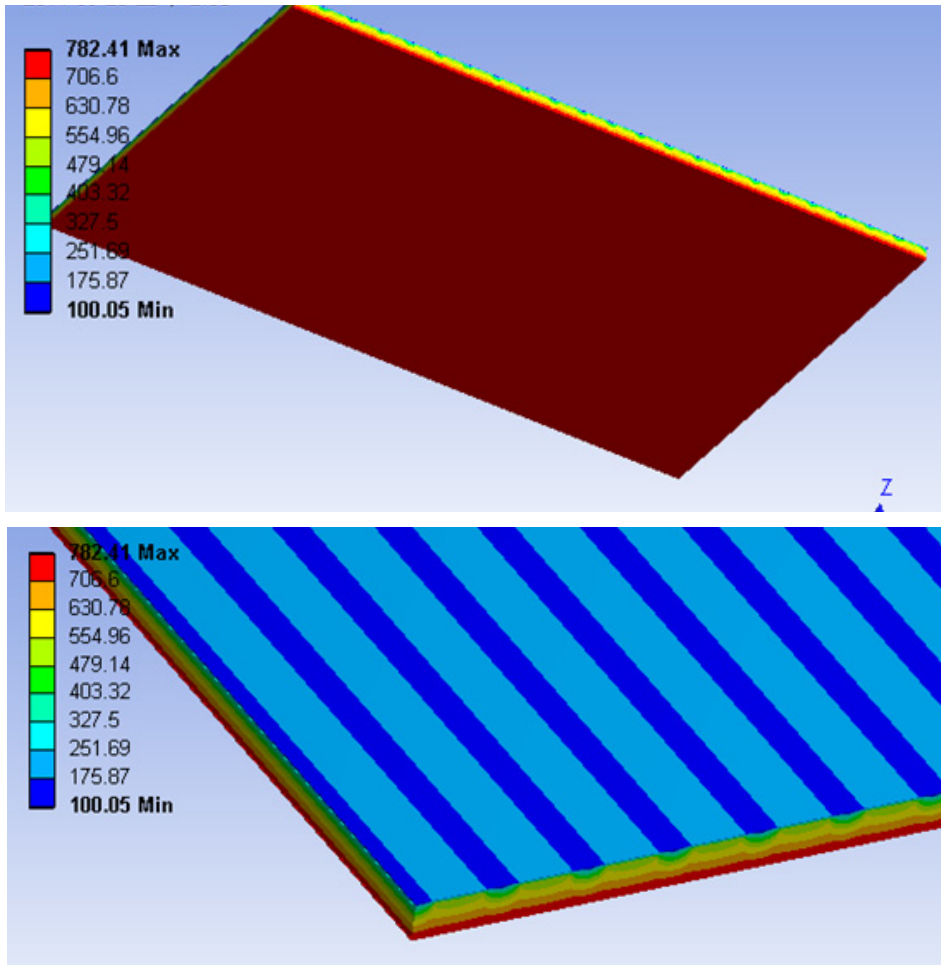


그림5 20분후에 시편의 온도분포

수치해석을 수행한 시편의 전체 해석 영역 및 생성된 격자계는 그림4와 같다. 그림5는 가열로에 설치된 시편을 그림1의 가열곡선을 따라 20분 가열한 후에 시편의 온도분포를 보여주고 있다. 가열되고 있는 바닥면의 온도가 가장 높으며 완충효과를 위하여 설치되어 있는 실리콘러버를 통하여 온도가 더 빨리 전달되는 것을 볼 수 있다. 시험체의 차열성을 확인하기 위하여 비가열면 표면에서 최대온도를 그래프로 그리면 그림6과 같다. 이때의 최고온도는 209.45℃로 차열성의 기준인 200 ℃을 약간 초과하는 것을 볼 수 있다.

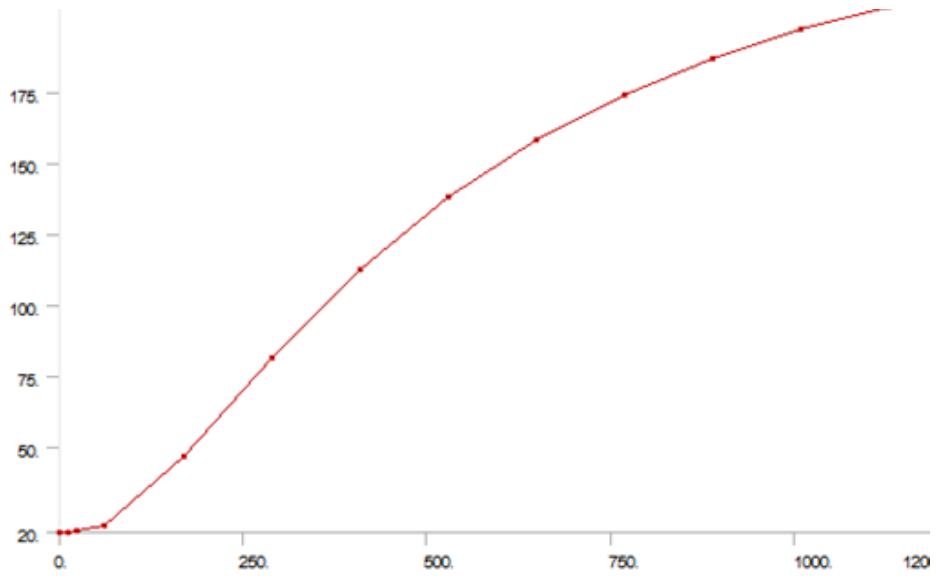


그림6 비가열면의 최대온도 분포

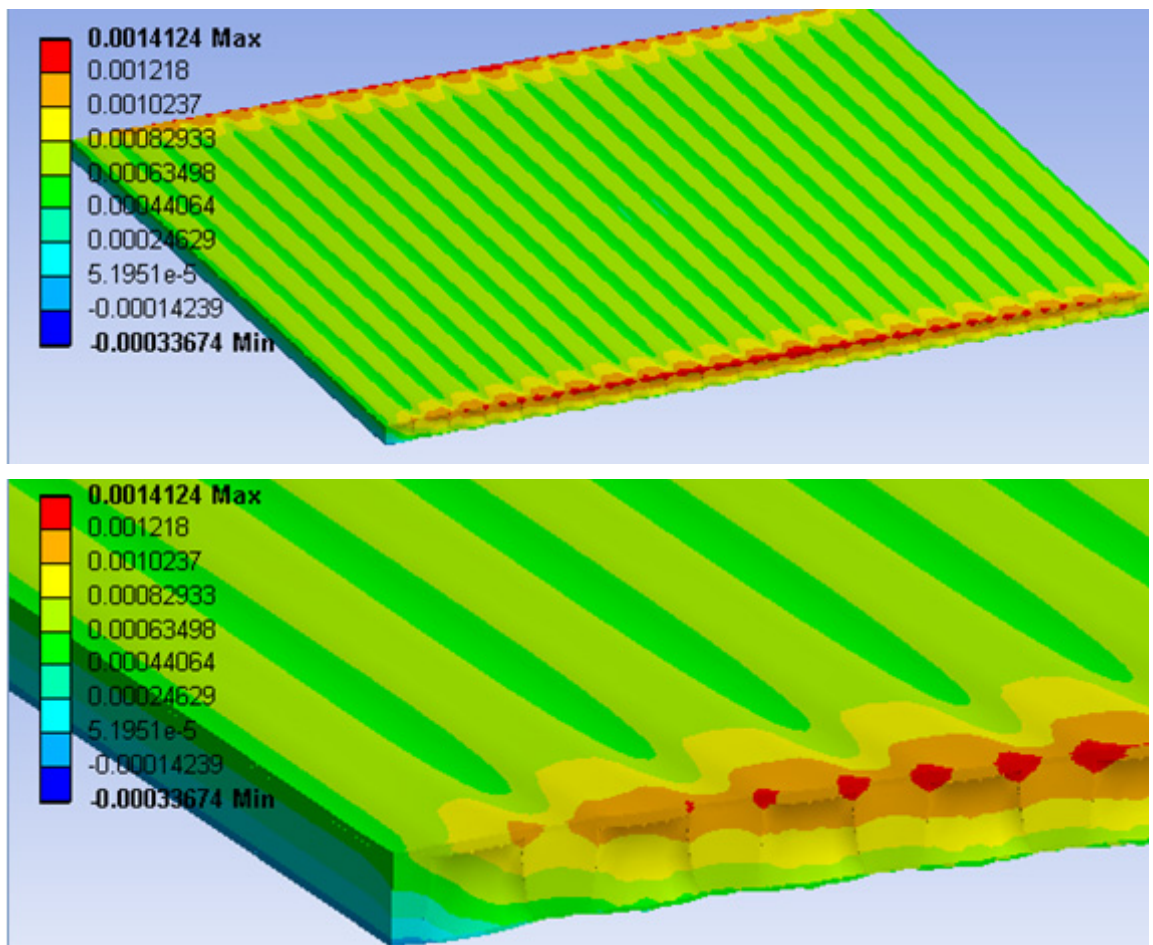


그림7 두께방향의 변형량

그림7에서는 20분의 가열후의 두께방향(중력방향)의 변형량을 보여주고 있는데 최대변형량은 1.61 mm 이다.

## 참고문헌

1. 국토해양부, 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙, 2011.3.3.
2. 국토해양부, 철도차량 안전기준에 관한 지침, 2010.9.17.
3. 한국표준협회, 건축부재의 내화 시험 방법 - 수평 내력 구획 부재의 성능 조건, KS F 2257-5, 2005